



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 29 484 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 05 D 3/12**

②1 Aktenzeichen: P 43 29 484.7  
②2 Anmeldetag: 1. 9. 93  
④3 Offenlegungstag: 3. 3. 94

DE 43 29 484 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1

02.09.92 JP P 258972/92 30.09.92 JP P 286835/92

⑦1 Anmelder:

Fuji Electric Co., Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP

⑦4 Vertreter:

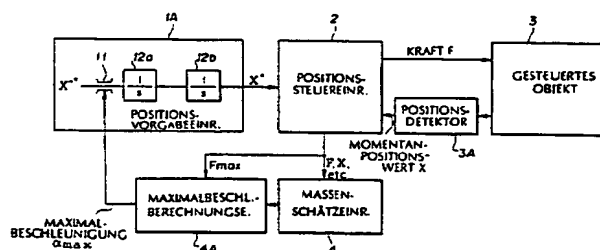
Tiedtke, H., Dipl.-Ing.; Bühling, G., Dipl.-Chem.;  
Kinne, R., Dipl.-Ing.; Pellmann, H., Dipl.-Ing.; Grams,  
K., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 80336 München

⑦2 Erfinder:

Aihara, Takashi, Kawasaki, Kanagawa, JP

⑤4 Positioniervorrichtung

⑤7 Eine Positioniervorrichtung beinhaltet eine Positions-Vorgabeeinrichtung (1A) zur Ausgabe eines Positions-Vorgabewerts für ein gesteuertes Objekt (3) sowie eine Positions-Steuereinrichtung (2) zum Steuern des Objekts derart, daß dessen Momentan-Positionswert mit dem Positions-Vorgabewert in Übereinstimmung gebracht wird. Die Vorrichtung beinhaltet weiterhin eine Massen-Schätzeinrichtung (4), die die Masse oder die Trägheit des gesteuerten Objekts (3) schätzt, eine Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung (4A), die die maximale Beschleunigung ( $\alpha_{\max}$ ) des gesteuerten Objekts auf der Basis der durch die Massen-Schätzeinrichtung (4) geschätzten Masse berechnet, und einen Beschleunigungsbegrenzer (11), der die zweite Ableitung des Positions-Vorgabewerts auf einen Wert kleiner als die maximale Beschleunigung ( $\alpha_{\max}$ ) begrenzt. Mit der Positioniervorrichtung kann ein durch die Parametereinstellung der Positions-Vorgabeeinrichtung oder der Positions-Steuereinrichtung bedingter instabiler Betriebszustand vermieden werden.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 94 308 069/822

12/44

DE 43 29 484 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine in Fahrgeräten, wie beispielsweise fahrbaren Robotern, sowie in verschiedenen Arten von Transportsystemen einsetzbare Positioniervorrichtung, die unter Verwendung einer Servosteuerung einen Gegenstand aus einer Anfangslage in eine Bestimmungslage bewegt.

Bei einer Positioniervorrichtung mit einem Positions-Vorgabeabschnitt und einem Positions-Steuerabschnitt ist es im allgemeinen erforderlich, daß die an den Positions-Steuerabschnitt abzugebende Kraft- oder Drehmoment-Anweisung innerhalb dessen maximal möglicher Leistungsfähigkeit liegt. Wird jedoch an den Positions-Steuerabschnitt eine Positionsanweisung abgegeben, die eine größere als die von der Positions-Steueranweisung abgebbare Beschleunigung erfordert, kann die tatsächliche Position dem Vorgabewert nicht nachfolgen, wodurch sich große Positionierungsfehler ergeben und ein instabiler Betriebszustand, beispielsweise Überspringen oder Schwingen des Systems, verursacht werden können.

Das Auftreten eines instabilen Betriebszustands kann bei einer herkömmlichen Positioniervorrichtung, wie obenstehend erwähnt, gleichfalls von der Einstellung der Kennwerte des Positions-Vorgabeabschnitts oder des Positions-Steuerabschnitts abhängig sein. Tritt in der Praxis ein instabiler Betriebszustand auf, erfordert dies folglich eine entsprechende Anpassung oder Justierung der Kennwerte, um den instabilen Betriebszustand zu beenden.

Fig. 9 zeigt ein Blockschaltbild einer herkömmlichen Positioniervorrichtung.

Wie dort dargestellt, wird der Beschleunigungs-Einstellwert  $X'''$  in einem Positions-Vorgabeabschnitt 1 mittels Integrierern 12a und 12b aufeinanderfolgend integriert und daraus ein erster Positions-Vorgabewert  $x_1^*$  erzeugt. Der erste Positions-Vorgabewert  $x_1^*$  wird einem Positions-Steuerabschnitt 2 zugeführt, der ein gesteuertes Objekt 3 ansteuert. Innerhalb dieses Vorgangs wird der erste Positions-Vorgabewert  $x_1^*$  im Positions-Steuerabschnitt 2 durch einen Filter 5a in einen zweiten Positionsvorgabewert  $x_2^*$  umgewandelt. Ferner erfaßt ein Positionsdetektor 3A die Position des gesteuerten Objekts 3 und gibt den tatsächlichen Momentan-Positionswert  $X$  aus.

Am Ausgang eines Addierers 21 erscheint die Differenz zwischen dem zweiten Positionsvorgabewert  $x_2^*$  und dem Momentan-Positionswert  $X$  des gesteuerten Objekts 3. Eine Positions-Einstelleinrichtung bzw. ein Positionsregler 22 multipliziert diese Differenz mit einem Verstärkungsfaktor  $K_p$  und gibt das Ergebnis als Geschwindigkeits-Vorgabewert  $n^*$  aus. Der Geschwindigkeits-Vorgabewert  $n^*$  wird einem Geschwindigkeits-Steuerabschnitt 23 zugeführt, der die gesteuerten Objekte mittels der Kraft  $F$  steuert. Erfordert der erste Positions-Vorgabewert  $x_1^*$  eine größere als von dem Positions-Steuerabschnitt 2 abgebbare Beschleunigung, so kann der tatsächliche Momentan-Positionswert  $X$  dem Vorgabewert nicht folgen, woraus sich folglich ein instabiler Betrieb ergeben kann.

Zur Vermeidung des instabilen Betriebszustands eignen sich die nachstehenden Verfahren zur Begrenzung der Beschleunigung: Begrenzung des Beschleunigungs-Einstellwerts  $X'''$  im Positions-Vorgabeabschnitt 1; Vergrößern der Zeitkonstante des Filters 5a; und Verkleinern des Verstärkungsfaktors  $K_p$  des Positionsreglers 22.

Das am besten geeignete der vorstehend genannten Verfahren ist daß Begrenzen des Beschleunigungs-Einstellwerts  $X'''$  im Positions-Vorgabeabschnitt 1. In einer vergleichsweise preiswerten Vorrichtung kann jedoch ein Positions-Vorgabeabschnitt, mittels dem die Beschleunigung beliebig begrenzt werden kann, nicht vorhanden sein. In einem solchen Fall muß als zweitbeste Lösung die Zeitkonstante des Filters 5a vergrößert werden. In einer Vorrichtung, die über keinen derartigen Filter verfügt, muß letztendlich der Verstärkungsfaktor  $K_p$  des Positionsreglers 22 verkleinert werden.

Folglich kann in einer herkömmlichen Positioniervorrichtung ein instabiler Betriebszustand auftreten, sobald der Einstellwert eines Kennwerts des Positions-Vorgabeabschnitts 1 oder des Positions-Steuerabschnitts 2 einen bestimmten Grenzwert, der in Abhängigkeit vom Zustand des gesteuerten Objekts schwankt, überschreitet. Um einen derartigen instabilen Betriebszustand zu vermeiden, ist ein zeitaufwendiges sowie oftmals in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen wiederholtes Nachjustieren bzw. Nachregeln der Kennwerte erforderlich.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Positioniervorrichtung zu schaffen, mit der ein stabiler Betrieb erzielbar ist und somit ein langwieriges Nachregeln der Kennwerte entfallen kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Positioniervorrichtung, gekennzeichnet durch eine Positions-Vorgabeeinrichtung zum Ausgeben eines Positions-Vorgabewerts für ein gesteuertes Objekt, eine Positions-Erfassungseinrichtung zum Erfassen der momentanen Position des gesteuerten Objekts und zum Ausgeben eines Momentan-Positionswerts des gesteuerten Objekts, eine Positions-Steueranweisung zum Steuern einer auf das gesteuerte Objekt ausgeübten Kraft derart, daß der Momentan-Positionswert des gesteuerten Objekts mit dem Positions-Vorgabewert in Übereinstimmung gebracht wird, eine Schätzeinrichtung zum Schätzen der Masse des gesteuerten Objekts, eine Beschleunigungs-Berechnungseinrichtung zum Berechnen einer maximalen Beschleunigung des gesteuerten Objekts auf der Grundlage der durch die Schätzeinrichtung geschätzten Masse sowie zum Berechnen einer maximalen Kraft, die durch die Steueranweisung bereitgestellt werden kann, und eine Beschleunigungs-Begrenzungseinrichtung zum Begrenzen der zweiten seitlichen Ableitung des Positions-Vorgabewerts auf die durch die Berechnungseinrichtung ermittelte maximale Beschleunigung.

Weiterhin wird die vorstehend genannte Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch eine Positioniervorrichtung, gekennzeichnet durch eine Positions-Vorgabeeinrichtung zum Ausgeben eines ersten Positions-Vorgabewerts für ein gesteuertes Objekt, eine Positions-Erfassungseinrichtung zum Erfassen der momentanen Position des gesteuerten Objekts und zum Ausgeben eines Momentan-Positionswerts des gesteuerten Objekts, eine Positions-Steueranweisung zum Steuern einer auf das gesteuerte Objekt ausgeübten Kraft derart, daß der Momentan-Positionswert des gesteuerten Objekts mit dem Positions-Vorgabewert in Übereinstimmung gebracht wird,

eine Schätzeinrichtung zum Schätzen der Masse des gesteuerten Objekts, eine Beschleunigungs-Berechnungseinrichtung zum Berechnen einer maximalen Beschleunigung des gesteuerten Objekts auf der Grundlage der durch die Schätzeinrichtung geschätzten Masse sowie zum Berechnen einer maximalen Kraft, die durch die Steuereinrichtung bereitgestellt werden kann, eine Glättungseinrichtung zum zeitbezogenen Glätten des ersten Positions-Vorgabewerts sowie zum Ausgeben eines zweiten Positions-Vorgabewerts, und eine Beschleunigungs-Steuereinrichtung zum Begrenzen der zweiten zeitlichen Ableitung des zweiten Positions-Vorgabewerts auf die durch die Berechnungseinrichtung ermittelte maximale Beschleunigung.

Hierbei kann eine Konstante der Glättungseinrichtung durch die Beschleunigungs-Steuereinrichtung derart gesteuert werden, daß der Glättungsgrad ausschließlich erhöht wird.

Ferner kann vorgesehen sein, daß die Konstante der Glättungseinrichtung nur dann auf ihren Anfangswert zurückgesetzt wird, wenn Eingangssignal und Ausgangssignal der Glättungseinrichtung übereinstimmen.

Die Glättungseinrichtung kann ferner als Tiefpaßfilter ausgebildet werden und die Konstante der Glättungseinrichtung durch die Zeitkonstante des Tiefpaßfilters dargestellt sein.

Darüber hinaus wird die vorstehend genannte Aufgabe auf alternative Weise gelöst durch eine Positioniervorrichtung, gekennzeichnet durch eine Positions-Vorgabeeinrichtung zum Ausgeben eines ersten Positions-Vorgabewerts für ein gesteuertes Objekt, eine Positions-Erfassungseinrichtung zum Erfassen der momentanen Position des gesteuerten Objekts und zum Ausgeben eines Momentan-Positionswerts des gesteuerten Objekts, eine Positions-Steuereinrichtung zum Steuern einer auf das gesteuerte Objekt ausgeübten Kraft derart, daß der Momentan-Positionswert des gesteuerten Objekts mit dem Positions-Vorgabewert in Übereinstimmung gebracht wird, wobei die Positions-Steuereinrichtung eine Positions-Einstelleinrichtung beinhaltet, mittels der ein Geschwindigkeits-Vorgabewert durch Multiplikation der Differenz aus den Positions-Vorgabewert und dem Momentan-Positionswert mit einem Verstärkungsfaktor erhalten wird sowie eine Geschwindigkeits-Steuereinrichtung zum Steuern des gesteuerten Objekts derart, daß dessen Momentan-Geschwindigkeitswert mit dem Geschwindigkeits-Vorgabewert in Übereinstimmung gebracht wird, eine Schätzeinrichtung zum Schätzen der Masse des gesteuerten Objekts, eine Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung zum Berechnen einer maximalen Beschleunigung des gesteuerten Objekts auf der Grundlage der durch die Schätzeinrichtung geschätzten Masse sowie zum Berechnen einer maximalen Kraft, die durch die Steuereinrichtung bereitgestellt werden kann, und eine Beschleunigungs-Steuereinrichtung zum Begrenzen der zweiten zeitlichen Ableitung des durch die Positions-Einstelleinrichtung ausgegebenen Geschwindigkeits-Vorgabewerts auf die durch die Berechnungseinrichtung ermittelte maximale Beschleunigung.

Hierbei kann vorgesehen sein, daß die Beschleunigungs-Steuereinrichtung den Verstärkungsfaktor  $K_p$  der Positions-Einstelleinrichtung derart steuert, daß der Verstärkungsfaktor ausschließlich verkleinert wird.

Ferner kann vorgesehen sein, daß der Verstärkungsfaktor der Positions-Einstelleinrichtung nur dann auf seinen Anfangswert zurückgesetzt wird, wenn der Positions-Vorgabewert und der Momentan-Positionswert übereinstimmen.

Weiterhin wird die vorstehend genannte Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch eine Positioniervorrichtung, gekennzeichnet durch eine Positions-Vorgabeeinrichtung zum Ausgeben eines ersten Positions-Vorgabewerts für ein gesteuertes Objekt, eine Positions-Erfassungseinrichtung zum Erfassen der momentanen Position des gesteuerten Objekts und zum Ausgeben eines Momentan-Positionswerts des gesteuerten Objekts, eine Positions-Steuereinrichtung zum Steuern einer auf das gesteuerte Objekt ausgeübten Kraft derart, daß der Momentan-Positionswert des gesteuerten Objekts mit dem Positions-Vorgabewert in Übereinstimmung gebracht wird, wobei die Positions-Steuereinrichtung eine Positions-Einstelleinrichtung beinhaltet, mittels der ein Geschwindigkeits-Vorgabewert durch Multiplikation der Differenz aus dem Positions-Vorgabewert und dem Momentan-Positionswert mit einem Verstärkungsfaktor  $K_p$  erhalten wird, sowie eine Geschwindigkeits-Steuereinrichtung zum Steuern des gesteuerten Objekts derart, daß dessen Momentan-Geschwindigkeitswert mit dem Geschwindigkeits-Vorgabewert in Übereinstimmung gebracht wird, eine Schätzeinrichtung zum Schätzen der Masse des gesteuerten Objekts, eine Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung zum Berechnen einer maximalen Beschleunigung des gesteuerten Objekts auf der Grundlage der durch die Schätzeinrichtung geschätzten Masse sowie zum Berechnen einer maximalen Kraft, die durch die Steuereinrichtung bereitgestellt werden kann, und eine Anzeigeeinrichtung zum Anzeigen der maximalen Beschleunigung oder einer Beschleunigungszeit und einer Verzögerungszeit, die auf der Grundlage der Masse und der durch die Positions-Steuereinrichtung bereitstellbaren maximalen Kraft berechnet werden.

Gemäß den ersten drei vorstehend genannten Ausführungsbeispielen der Erfindung wird die durch die Positions-Steuereinrichtung abgegebene Kraft auf einen Wert begrenzt, der innerhalb des maximalen Leistungsvermögens der Positions-Steuereinrichtung liegt. Somit überschreitet die Differenz aus dem Positions-Vorgabewert und dem tatsächlichen Momentan-Positionswert des gesteuerten Objekts einen bestimmten Wert nicht. Auf diese Weise wird Überspringen oder ein Schwingen des Systems vermieden und eine stabile Betriebsweise ermöglicht. Weiterhin erlaubt dies, auf eine Nachjustierung von Kennwerten zu verzichten, wobei auch ein Nachregeln bzw. Nachstellen von Betriebsparametern entfällt, wenn sich die Betriebsbedingungen ändern.

Mittels der Positioniervorrichtung gemäß dem vierten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel können Parameter-Einstellwerte leicht aus der maximalen Beschleunigung oder vergleichbaren Werten erhalten werden und auf der Anzeigeeinrichtung angezeigt werden. Auf diese Weise kann die Vorrichtung auf eine geeignete Betriebsbedingung eingestellt werden, indem lediglich ein einmaliger Testbetrieb durchgeführt wird, wodurch der Einstellvorgang auf erhebliche Weise vereinfacht wird.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Positioniervorrichtung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

Fig. 2 ein Blockschaltbild der Positioniervorrichtung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel;

Fig. 3 ein Schaubild der Verlaufskurven der ersten Ableitungen  $X_1'^*$  und  $X_2'^*$  und der maximalen Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  während starker Beschleunigung und Verzögerung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel aus Fig. 2;

Fig. 4 ein Schaubild der Verlaufskurven der ersten Ableitungen  $X_1'^*$  und  $X_2'^*$  und der maximalen Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  während schwacher Beschleunigung und Verzögerung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel nach Fig. 2;

Fig. 5 ein Blockschaltbild der Positioniervorrichtung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel;

Fig. 6a und 6b Schaubilder der ersten Ableitungen  $X_1'^*$  und  $X_2'^*$  und der maximalen Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  bei starker Beschleunigung der Verzögerung gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel nach Fig. 5;

Fig. 7 ein Schaubild der Verlaufskurven der ersten Ableitungen  $X_1'^*$  und  $X_2'^*$  und der maximalen Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  bei schwacher Beschleunigung und Verzögerung gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel nach Fig. 5;

Fig. 8 ein Blockschaltbild der Positioniervorrichtung gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel; und

Fig. 9 ein Blockschaltbild einer herkömmlichen Positioniervorrichtung.

Ein erstes Ausführungsbeispiel der Positioniervorrichtung ist in Fig. 1 beschrieben.

In Fig. 1 ist mit 1A ein Positions-Vorgabeabschnitt bzw. eine Positions-Vorgabeeinrichtung bezeichnet, der zusätzlich zu Integrierern 12A und 12B einen noch zu beschreibenden Beschleunigungs-Begrenzungsabschnitt bzw. eine Beschleunigungs-Begrenzungseinrichtung 11 beinhaltet. Wie in Fig. 9 bezeichnen 2 und 3 jeweils den Positions-Steuerabschnitt bzw. die Positions-Steuereinrichtung und das gesteuerte Objekt. Mit 4 ist ein Massen-Schätzabschnitt bzw. eine Massen-Schätzeinrichtung zur Schätzung einer Masse bzw. eines Gewichts bezeichnet. Diese Massen-Schätzeinrichtung 4 leitet die Masse oder die Trägheitskraft des gesteuerten Objekts 3 aus dessen Betriebskenngrößen, wie beispielsweise der Kraft F und dem durch den Positionsdetektor 3A übermittelten Momentan-Positionswert X, der Kraft F und dem Geschwindigkeits-Vorgabewert  $n^*$ , der Kraft F und der tatsächlichen Geschwindigkeit n, der Kraft F und der Beschleunigung  $X''$  usw., ab. Einzelheiten zu einem Verfahren zum Schätzen der Masse oder der Trägheit werden in "Instantaneous Speed Detection with Parameter Identification for ac Servo Systems", K. Fujita, et al, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 28, No. 4, July/August 1992 beschrieben. Mit 4A ist ein Maximalbeschleunigungs-Berechnungsabschnitt bzw. eine Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung bezeichnet, mittels der die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  (bzw. die maximale Winkelbeschleunigung) auf der Basis der geschätzten Masse oder der Trägheit und die maximale Kraft  $F_{\max}$  bzw. das maximale Moment, das durch die Positions-Steuereinrichtung 2 zur Verfügung gestellt werden kann, berechnet wird und der die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  an den Beschleunigungs-Begrenzer 11 in der Positions-Vorgabeeinrichtung 1A übergibt.

Der Beschleunigungs-Begrenzer 11 begrenzt den Beschleunigungs-Vorgabewert  $X'''$  derart, daß der Wert  $X'''$  den durch die Massen-Schätzeinrichtung 4 übermittelten maximalen Beschleunigungswert  $\alpha_{\max}$  nicht überschreitet. Die Positions-Vorgabeeinrichtung 1A führt die Positions-Vorgabeberechnung auf der Basis des Ausgangssignals des Beschleunigungs-Begrenzers 11 durch.

Gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel wird die zweite zeitliche Ableitung  $X'''$  des Positions-Vorgabewerts  $X^*$  durch den Beschleunigungs-Begrenzer 11 auf den maximalen Beschleunigungswert  $\alpha_{\max}$  begrenzt. Folglich überschreitet die durch die Positions-Steuereinrichtung 2 abgegebene Kraft F die maximal mögliche Ausgangskraft der Positions-Steuereinrichtung 2 nicht. Auf diese Weise wird ein übermäßiger Positionierungsfehler vermieden und folglich ein stabiler Betrieb gewährleistet.

Da die Positioniervorrichtung gemäß dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel lediglich diejenigen Beschleunigungsvorgabewerte  $X'''$  begrenzt, die die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  überschreiten würden, können die Beschleunigungsvorgabewerte  $X'''$ , die kleiner sind als die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}'$  auf die gleiche Weise wie bei der herkömmlichen Vorrichtung behandelt werden.

Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der Positioniervorrichtung. Ein wesentlicher Unterschied zur herkömmlichen Vorrichtung gemäß Fig. 9 besteht darin, daß die Positions-Steuereinrichtung 2 gemäß Fig. 9 in einen Filter 5a und eine Positions-Steuereinrichtung 2A unterteilt ist, und daß ferner die Massen-Schätzeinrichtung 4 und ein Beschleunigungs-Steuerabschnitt bzw. eine Beschleunigungs-Steuereinrichtung 5b vorgesehen sind. Hierbei stellt der Filter 5a eine Glättungseinrichtung dar, während die Beschleunigungs-Steuereinrichtung 5b als Beschleunigungs-Begrenzungseinrichtung dient. Die Positions-Vorgabeeinrichtung 1 entspricht derjenigen aus Fig. 9. Die Beschleunigungs-Steuereinrichtung 5b empfängt die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  aus der Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung 4A und dem zweiten Positions-Vorgabewert  $X_2^*$  aus dem Filter 5a, und gibt an den Filter 5a ein Signal zur Einstellung der Zeitkonstante des Filters 5a ab.

Im Einzelnen steuert die Beschleunigungs-Steuereinrichtung 5b die Zeitkonstante des Filters 5a derart, daß die zweite zeitliche Ableitung des zweiten Positions-Vorgabewerts  $X_2^*$  die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  nicht überschreitet, wenn die zweite zeitliche Ableitung größer als  $\alpha_{\max}$  ist.

Bei einem beispielsweise als diskretes Zeitbereichs-Primärfilter ausgebildeten Filter 5a wird mit der Zeitkonstante wie nachstehend beschrieben verfahren.

Zu Beginn wird die Filtercharakteristik durch die folgende Gleichung (1) dargestellt.

$$X_2 \cdot (i) = X_2 \cdot (i-1) + \{X_1 \cdot (i) - X_2 \cdot (i-1)\} T_s / T_f \quad (1)$$

wobei  $T_s$  ein Abtast-Intervall und  $T_f$  die Zeitkonstante des Filters 5a darstellen.

Wenn die folgende Bedingung (2) für die mit der zweiten zeitlichen Ableitung des zweiten Positionsvorgabewerts  $X_2^*$  zugeordnete linke Seite und die rechte Seite (d. h., die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$ ) erfüllt ist, wird die Zeitkonstante  $T_f$  des Filters 5a unter Verwendung der Gleichung (3b) berechnet.  $X_2^*(i)$  wird aus Gleichung

(3a) bestimmt und, wenn der Ausdruck (2) erfüllt ist, in Gleichung (3b) ersetzt bzw. substituiert.

$$\{X_2 \cdot (i) - X_2 \cdot (i-1)\} - \{X_2 \cdot (i-1) - X_2 \cdot (i-2)\} \alpha_{\max} \quad (2)$$

$$X_2 \cdot (i) = 2X_2 \cdot (i-1) - X_2 \cdot (i-2) + \alpha_{\max} \quad (3a)$$

$$T_f = \frac{X_1 \cdot (i) - X_2 \cdot (i-1)}{X_2 \cdot (i) - X_2 \cdot (i-1)} \cdot T_s \quad (3b)$$

Bevorzugterweise wird die Zeitkonstante  $T_f$  des Filters 5a nicht wieder verkleinert, nachdem sie durch den Einstellvorgang mittels der Beschleunigungs-Steuereinrichtung 5b vergrößert wurde, da es sehr wahrscheinlich ist, daß der Maximalwert  $\alpha_{\max}$  auch während des Verzögerungsvorgangs überschritten wird, nachdem er bereits während des Beschleunigungsvorgangs überschritten wurde. Da der Filter 5a ferner einer Lage bzw. Position zugeordnet ist, tritt eine seiner Zeitkonstante proportionale Zeitverzögerung auf, wenn sich die Position ändert. Dementsprechend bedeutet dies, daß das Verkleinern der einmal vergrößerten Zeitkonstante  $T_f$  ein dazu proportionales Verkleinern der Zeitkonstante mit sich bringt. In einem solchen Fall ist es bei einem mit der Verkleinerung der Zeitkonstante übereinstimmenden Verzögerungsbetrieb nicht möglich, dem Positionsvorgabewert zu folgen, so daß ein Überschwingen verursacht wird. Folglich wird bevorzugterweise die Zeitkonstante  $T_f$  ausschließlich vergrößert, um einen stabilen Betriebszustand aufrechtzuerhalten.

Fig. 3 und 4 veranschaulichen die Beziehungen zwischen der Zeit und den ersten zeitlichen Ableitungen  $X_1'$  und  $X_2'$  der ersten und zweiten Positionsvorgabewerte  $X_1^*$  und  $X_2^*$  sowie der maximalen Beschleunigung  $\alpha_{\max}$ . Wie aus diesen Figuren ersichtlich ist, sind die Zeitkonstanten  $T_1$  und  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) des Filters, die für eine gleichbleibende Beschleunigung bei verschiedenen Geschwindigkeitsschätzwerten erforderlich sind, unterschiedlich.

Präziser ausgedrückt muß, um die tatsächliche Beschleunigung auf die Maximal-Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  zu begrenzen, die Zeitkonstante  $T_f$  des Filters in einem Bereich starker Beschleunigung und Verzögerung gemäß Fig. 3 auf einem eher großen Wert  $T_1$  eingestellt werden, kann jedoch in einem Bereich kleiner Beschleunigung und Verzögerung gemäß Fig. 4 auf einen eher kleinen Wert  $T_2$  reduziert werden.

Wird im Falle der Fig. 4 die Zeitkonstante  $T_f$  auf den Wert  $T_1$  eingestellt, so wird der Betriebsablauf übermäßig verzögert. Eine optimale Zeitkonstante kann immer erreicht werden, wenn jeweils nach Beenden eines Arbeitszyklus die Zeitkonstante  $T_f$  des Filters 5a auf ihren Anfangswert zurückgesetzt wird, weil normalerweise das Ausgangssignal und das Eingangssignal des Filters 5a durch bzw. im Betrieb identische Werte annehmen.

Der Filter 5a kann als Filter zweiter oder dritter Ordnung mit einer S-förmigen Kennlinie ausgebildet sein, wodurch eine S-förmige, geglättete Verlaufskurve der Beschleunigung erreicht wird.

Verläuft die erste zeitliche Ableitung des ersten Positionsvorgabewerts  $X_1'$  stufenförmig, so wird durch die durch die nachstehende Gleichung (4) definierte Filterberechnung ein linearer Verlauf der ersten zeitlichen Ableitung des zweiten Positionsvorgabewerts  $X_2'$  herbeigeführt, so daß in diesem Fall die Beschleunigung auf die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  begrenzt werden kann.

$$dX_2' / dt = \sqrt{2 (X_1' - X_2') \alpha_{\max}} \quad (4)$$

Fig. 5 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel der Positioniervorrichtung. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind ebenfalls die Massen-Schätzeinrichtung 4 sowie die Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung 4A gemäß Fig. 1 und 2 vorgesehen. Darüber hinaus weist die Positioniervorrichtung gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel eine Beschleunigungs-Steuereinrichtung 5 zur Begrenzung der Beschleunigung auf. Die Beschleunigungs-Steuereinrichtung 5 steuert bzw. regelt den Verstärkungsfaktor  $K_p$  des Positionsreglers 22 in der Position-Steuereinrichtung 2A auf der Basis des durch den Positionsregler 22 abgegebenen Geschwindigkeits-Vorgabewerts  $n^*$  und der durch die Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung 4A erzeugten Maximalbeschleunigung  $\alpha_{\max}$ .

Der Beschleunigungsregler 5 steuert den Verstärkungsfaktor  $K_p$  des Positionsreglers 22, wenn die erste zeitliche Ableitung des durch den Positionsregler 22 abgegebenen Geschwindigkeitsvorgabewerts  $n^*$  die Maximalbeschleunigung  $\alpha_{\max}$  überschreitet, so daß die erste zeitliche Ableitung unter die Maximalbeschleunigung  $\alpha_{\max}$  fällt.

Der Geschwindigkeits-Vorgabewert  $n^*$  wird im diskreten Zeitsystem gemäß der folgenden Gleichung (5) bestimmt.

$$n \cdot (i) = \{X \cdot (i) - X(i)\} K_p \quad (5)$$

Die Werte  $n^*(i)$  und  $K_p$  werden durch den Beschleunigungsregler 5 unter Verwendung der nachfolgenden Gleichungen (6) und (7) berechnet, wenn gilt:  $n^*(i) - n^*(i-1) > \alpha_{\max}$

$$n \cdot (i) = n \cdot (i-1) + \alpha_{\max} \quad (6)$$

$$K_p = n \cdot (i) / [X \cdot (i) - X(i)] \quad (7)$$

Wurde der Verstärkungsfaktor  $K_p$  verkleinert, so wird bevorzugterweise der Verstärkungsfaktor aus denselben Gründen, wie bereits für das zweite Ausführungsbeispiel beschrieben, nicht wieder vergrößert. Da der Verstärkungsfaktor  $K_p$  des Positionsreglers 22 eine der Zeitkonstante eines Filters ähnliche Funktion besitzt, wird der Momentan-Positions-wert  $X$  während einer Bewegung in bezug auf den Positions-Vorgabewert  $X^*$  ein wenig verzögert, wobei die Verzögerung zum Verstärkungsfaktor  $K_p$  umgekehrt proportional ist. Daraus folgt, daß die Zeitverzögerung im umgekehrten Verhältnis zum Verstärkungsfaktor  $K_p$  verringert wird, wenn dieser während der Bewegung wieder vergrößert wird, nachdem er einmal verkleinert worden war. Dies erschwert der Verzögerung, dem Positions-Vorgabewert  $X^*$  zu folgen und verursacht ein Überschwingen des Systems. Folglich kann ein stabiler Betrieb ausschließlich dadurch erreicht werden, daß der Verstärkungsfaktor  $K_p$  nicht vergrößert, sondern verkleinert wird.

Die Fig. 6A und 6B zeigen die Beziehungen zwischen der Zeit, der ersten zeitlichen Ableitung  $X'^*$  des Positions-Vorgabewerts  $X^*$ , dem Geschwindigkeits-Vorgabewert  $n^*$  und der Maximal-Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  im Bereich großer Beschleunigung und Verzögerung. In Fig. 7 sind diese Beziehungen für den Bereich kleiner Beschleunigung und Verzögerung dargestellt. Wie aus diesen Figuren ersichtlich ist, sind verschiedene Verstärkungsfaktoren  $K_p$  erforderlich, um für verschiedene Geschwindigkeiten dieselbe Beschleunigung zu erhalten.

Die Maximallinie des Geschwindigkeits-Vorgabewerts  $n^*$  ist, wie in Fig. 6B gezeigt, umgekehrt proportional zu  $K_p$  ( $1/K_p$ ), wenn sich die erste zeitliche Ableitung  $X'^*$  stufenförmig ändert. Diese  $1/K_p$ -Maximallinie darf die Verlaufskurve der Maximal-Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  nicht überschreiten. Anders gesagt, muß der Verstärkungsfaktor  $K_p$  im Bereich großer Beschleunigung und Verzögerung gemäß Fig. 6A und 6B auf einen eher kleinen Wert  $1/T_1$  eingestellt werden, um die tatsächliche Beschleunigung auf die Maximal-Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  zu begrenzen, kann jedoch im Bereich kleiner Beschleunigung und Verzögerung gemäß Fig. 7 auf einen ziemlich großen Wert  $1/T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) eingestellt werden.

Würde der Verstärkungsfaktor  $K_p$  im Fall der Fig. 7 auf  $1/T_1$  eingestellt werden, würde der Betriebsablauf übermäßig verzögert werden. Ein Optimalwert für den Verstärkungsfaktor kann immer erhalten werden, wenn der Verstärkungsfaktor  $K_p$  jeweils nach Ablauf eines Arbeitszyklus auf seinen Anfangswert zurückgesetzt wird, da im Betrieb die tatsächliche Momentan-Position  $X$  und der Positions-Vorgabewert  $X^*$  normalerweise identische Werte annehmen.

In Fig. 8 ist ein viertes Ausführungsbeispiel der Positioniervorrichtung dargestellt. Eine Vorrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist in Systemen verwendbar, bei denen außer dem Geschwindigkeits-Vorgabewert  $n^*$  aufgrund der Unterteilung der Positions-Steuereinrichtung 2 in getrennte Abschnitte, d. h. einen den Addierer 21 und eine den Positionsregler 22 aufweisende Positions-Steuereinrichtung 2B sowie einen Geschwindigkeits-Steuerschnitt bzw. eine Geschwindigkeits-Steuereinrichtung 23, keine weitere Information verfügbar ist. Im wesentlichen entspricht die Vorrichtung der der Fig. 9, verfügt jedoch weiterhin über die Massen-Schätzeinrichtung 4, die Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung 4A sowie einen Beschleunigungs-Anzeigeabschnitt bzw. eine Beschleunigungs-Anzeigeeinrichtung 6.

Auf der Beschleunigungs-Anzeigeeinrichtung 6 wird die durch die Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung 4A berechnete maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  (oder die maximale Winkelbeschleunigung) dargestellt. Gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist es nicht erforderlich, daß die Beschleunigungs-Anweisung  $X''^*$  durch die Beschleunigungs-Begrenzungseinrichtung gemäß dem in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel begrenzt wird, daß die Zeitkonstante des Filters 5a wie beim in Fig. 2 gezeigten zweiten Ausführungsbeispiel eingestellt wird, oder daß der Verstärkungsfaktor  $K_p$  wie im dritten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 geregelt wird. Dementsprechend ist das Einstellen von Kennwerten, wie beispielsweise einem Beschleunigungskennwert der Positions-Vorgabeeinrichtung 1, unbedingt erforderlich.

Aus diesem Grund wird die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  zur Anzeige gebracht, so daß der für jeden Parameter eingestellte Wert spezifiziert wird.

Im einzelnen wird demgemäß ein Testbetrieb durchgeführt, so daß die maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$ , die durch die Beschleunigungs-Berechnungseinrichtung 4A berechnet wird, auf der Beschleunigungs-Anzeigeeinrichtung 6 dargestellt wird. Die angezeigte maximale Beschleunigung  $\alpha_{\max}$  wird zur Einstellung der Beschleunigungsparameter der Positions-Steuereinrichtung 1 verwendet. Folglich erlaubt ein einmaliger Testbetrieb, die Werte der Parameter festzulegen, wodurch somit ein empirisches Ermittlungsverfahren (trial-and-error testing) nicht notwendig ist. Im Ergebnis wird der Einstellvorgang vereinfacht und kann schnell ausgeführt werden.

Die vorstehend beschriebene Positioniervorrichtung weist somit eine Positions-Vorgabeeinrichtung auf, die einen Positions-Vorgabewert für ein gesteuertes Objekt ausgibt, sowie eine Positions-Steuereinrichtung zum Steuern des Objekts derart, daß dessen Momentan-Positions-wert mit dem Positions-Vorgabewert in Übereinstimmung gebracht wird. Die Vorrichtung beinhaltet weiterhin eine Massen-Schätzeinrichtung, die die Masse oder die Trägheit des gesteuerten Objekts schätzt, eine Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung, die die maximale Beschleunigung des gesteuerten Objekts auf der Basis der durch die Massen-Schätzeinrichtung geschätzten Masse berechnet, und einen Beschleunigungsbegrenzer, der die zweite Ableitung des Positions-Vorgabewerts auf einen Wert kleiner als die maximale Beschleunigung begrenzt. Mit der Positioniervorrichtung kann ein durch die Parametereinstellung der Positions-Vorgabeeinrichtung oder der Positions-Steuereinrichtung bedingter instabiler Betriebszustand vermieden werden.

#### Patentansprüche

1. Positionier-Vorrichtung, gekennzeichnet durch eine Positions-Vorgabeeinrichtung (1A) zum Ausgeben eines Positions-Vorgabewerts  $X^*$  für ein gesteuertes Objekt (3);

- eine Positions-Erfassungseinrichtung (3A) zum Erfassen der momentanen Position des gesteuerten Objekts (3) und zum Ausgeben eines Momentan-Positionswerts (X) des gesteuerten Objekts (3);  
 eine Positions-Steuereinrichtung (2) zum Steuern einer auf das gesteuerte Objekt (3) ausgeübten Kraft derart, daß der Momentan-Positionswert (X) des gesteuerten Objekts (3) mit dem Positions-Vorgabewert ( $X^*$ ) in Übereinstimmung gebracht wird; 5  
 eine Schätzeinrichtung (4) zum Schätzen der Masse des gesteuerten Objekts (3);  
 eine Beschleunigungs-Berechnungseinrichtung (4A) zum Berechnen einer maximalen Beschleunigung ( $\alpha_{\max}$ ) des gesteuerten Objekts (3) auf der Grundlage der durch die Schätzeinrichtung (4) geschätzten Masse, sowie zum Berechnen einer maximalen Kraft ( $F_{\max}$ ), die durch die Steuereinrichtung (2) bereitgestellt werden kann; und 10  
 eine Beschleunigungs-Begrenzungseinrichtung (11) zum Begrenzen der zweiten zeitlichen Ableitung des Positions-Vorgabewerts ( $X^*$ ) auf die durch die Berechnungseinrichtung (4A) ermittelte maximale Beschleunigung.
2. Positionier-Vorrichtung, gekennzeichnet durch  
 eine Positions-Vorgabeeinrichtung (1) zum Ausgeben eines ersten Positions-Vorgabewerts ( $X^*$ ) für ein gesteuertes Objekt (3); 15  
 eine Positions-Erfassungseinrichtung (3A) zum Erfassen der momentanen Position des gesteuerten Objekts (X) und zum Ausgeben eines Momentan-Positionswerts (X) des gesteuerten Objekts (3);  
 eine Positions-Steuereinrichtung (2A) zum Steuern einer auf das gesteuerte Objekt (3) ausgeübten Kraft derart, daß der Momentan-Positionswert (X) des gesteuerten Objekts (3) mit dem Positions-Vorgabewert ( $X^*$ ) in Übereinstimmung gebracht wird; 20  
 eine Schätzeinrichtung (4) zum Schätzen der Masse des gesteuerten Objekts (3);  
 eine Beschleunigungs-Berechnungseinrichtung (4A) zum Berechnen einer maximalen Beschleunigung ( $\alpha_{\max}$ ) des gesteuerten Objekts (3) auf der Grundlage der durch die Schätzeinrichtung (4) geschätzten Masse, sowie zum Berechnen einer maximalen Kraft ( $F_{\max}$ ), die durch die Steuereinrichtung (2A) bereitgestellt werden kann; und 25  
 eine Glättungseinrichtung (5a) zum zeitbezogenen Glätten des ersten Positions-Vorgabewerts ( $X_1^*$ ) sowie zum Ausgeben eines zweiten Positions-Vorgabewerts ( $X_2^*$ ); und  
 eine Beschleunigungs-Steuereinrichtung (5b) zum Begrenzen der zweiten zeitlichen Ableitung des zweiten Positions-Vorgabewerts ( $X_2^*$ ) auf die durch die Berechnungseinrichtung (4A) ermittelte maximale Beschleunigung ( $\alpha_{\max}$ ). 30
3. Positionier-Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleunigungs-Steuereinrichtung (5b) eine Konstante der Glättungseinrichtung (5a) derart steuert, daß der Glättungsgrad ausschließlich erhöht wird.
4. Positionier-Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Konstante der Glättungseinrichtung (5a) nur dann auf ihren Anfangswert zurückgesetzt wird, wenn Eingangssignal und Ausgangssignal der Glättungseinrichtung (5a) übereinstimmen. 35
5. Positionier-Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Glättungseinrichtung (5a) als Tiefpaßfilter ausgebildet ist und die Konstante der Glättungseinrichtung (5a) dessen Zeitkonstante darstellt.
6. Positionier-Vorrichtung, gekennzeichnet durch 40  
 eine Positions-Vorgabeeinrichtung (1) zum Ausgeben eines ersten Positions-Vorgabewerts ( $X^*$ ) für ein gesteuertes Objekt (3);  
 eine Positions-Erfassungseinrichtung (3A) zum Erfassen der momentanen Position des gesteuerten Objekts (3) und zum Ausgeben eines Momentan-Positionswerts (X) des gesteuerten Objekts (3);  
 eine Positions-Steuereinrichtung (2A) zum Steuern einer auf das gesteuerte Objekt (3) ausgeübten Kraft (F) derart, daß der Momentan-Positionswert (X) des gesteuerten Objekts (3) mit dem Positions-Vorgabewert ( $X^*$ ) in Übereinstimmung gebracht wird, wobei die Positions-Steuereinrichtung (2A) eine Positions-Einstelleinrichtung (21, 22) beinhaltet, mittels der ein Geschwindigkeits-Vorgabewert ( $n^*$ ) durch Multiplikation der Differenz aus dem Positions-Vorgabewert ( $X^*$ ) und dem Momentan-Positionswert (X) mit einem Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) erhalten wird, sowie eine Geschwindigkeits-Steuereinrichtung (23) zum Steuern des gesteuerten Objekts (3) derart, daß dessen Momentan-Geschwindigkeitswert (n) mit dem Geschwindigkeits-Vorgabewert ( $n^*$ ) in Übereinstimmung gebracht wird; 45  
 eine Schätzeinrichtung (4) zum Schätzen der Masse des gesteuerten Objekts (3);  
 eine Beschleunigungs-Berechnungseinrichtung (4A) zum Berechnen einer maximalen Beschleunigung ( $\alpha_{\max}$ ) des gesteuerten Objekts (3) auf der Grundlage der durch die Schätzeinrichtung (4) geschätzten Masse, sowie zum Berechnen einer maximalen Kraft ( $F_{\max}$ ), die durch die Steuereinrichtung (2A) bereitgestellt werden kann; und 50  
 eine Beschleunigungs-Steuereinrichtung (5) zum Begrenzen der zweiten zeitlichen Ableitung des durch die Positions-Einstelleinrichtung (21, 22) ausgegebenen Geschwindigkeits-Vorgabewerts ( $n^*$ ) auf die durch die Berechnungseinrichtung (4A) ermittelte maximale Beschleunigung ( $\alpha_{\max}$ ). 55
7. Positionier-Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleunigungs-Steuereinrichtung (5) den Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) der Positions-Einstelleinrichtung (2A) derart steuert, daß der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) ausschließlich verkleinert wird. 60
8. Positionier-Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) der Positions-Einstelleinrichtung (2A) nur dann auf seinen Anfangswert zurückgesetzt wird, wenn der Positions-Vorgabewert ( $X^*$ ) und der Momentan-Positionswert (X) übereinstimmen. 65
9. Positionier-Vorrichtung, gekennzeichnet durch  
 eine Positions-Vorgabeeinrichtung (1) zum Ausgeben eines ersten Positions-Vorgabewerts ( $X^*$ ) für ein

gesteuertes Objekt (3);

eine Positions-Erfassungseinrichtung (3A) zum Erfassen der momentanen Position des gesteuerten Objekts (3) und zum Ausgeben eines Momentan-Positionswerts (X) des gesteuerten Objekts (3);

eine Positions-Steuereinrichtung (2B) zum Steuern einer auf das gesteuerte Objekt (3) ausgeübten Kraft (F) derart, daß der Momentan-Positionswert (X) des gesteuerten Objekts (3) mit dem Positions-Vorgabewert ( $X^*$ ) in Übereinstimmung gebracht wird, wobei die Positions-Steuereinrichtung (2B) eine Positions-Einstelleinrichtung (21, 22) beinhaltet, mittels der ein Geschwindigkeits-Vorgabewert ( $n^*$ ) durch Multiplikation der Differenz aus dem Positions-Vorgabewert ( $X^*$ ) und dem Momentan-Positionswert (X) mit einem Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) erhalten wird, sowie eine Geschwindigkeits-Steuereinrichtung (23) zum Steuern des gesteuerten Objekts (3) derart, daß dessen Momentan-Geschwindigkeitswert (n) mit dem Geschwindigkeits-Vorgabewert ( $n^*$ ) in Übereinstimmung gebracht wird;

eine Schätzeinrichtung (4) zum Schätzen der Masse des gesteuerten Objekts (3);

eine Maximalbeschleunigungs-Berechnungseinrichtung (4A) zum Berechnen einer maximalen Beschleunigung ( $\alpha_{\max}$ ) des gesteuerten Objekts (3) auf der Grundlage der durch die Schätzeinrichtung (4) geschätzten Masse, sowie zum Berechnen einer maximalen Kraft ( $F_{\max}$ ), die durch die Steuereinrichtung (2B) bereitgestellt werden kann; und

eine Anzeigeeinrichtung (6) zum Anzeigen der maximalen Beschleunigung ( $\alpha_{\max}$ ) oder einer Beschleunigungszeit und einer Verzögerungszeit, die auf der Grundlage der Masse und der durch die Positions-Steuereinrichtung (2B) bereitstellbaren maximalen Kraft ( $F_{\max}$ ) berechnet werden.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen



- Leerseite -

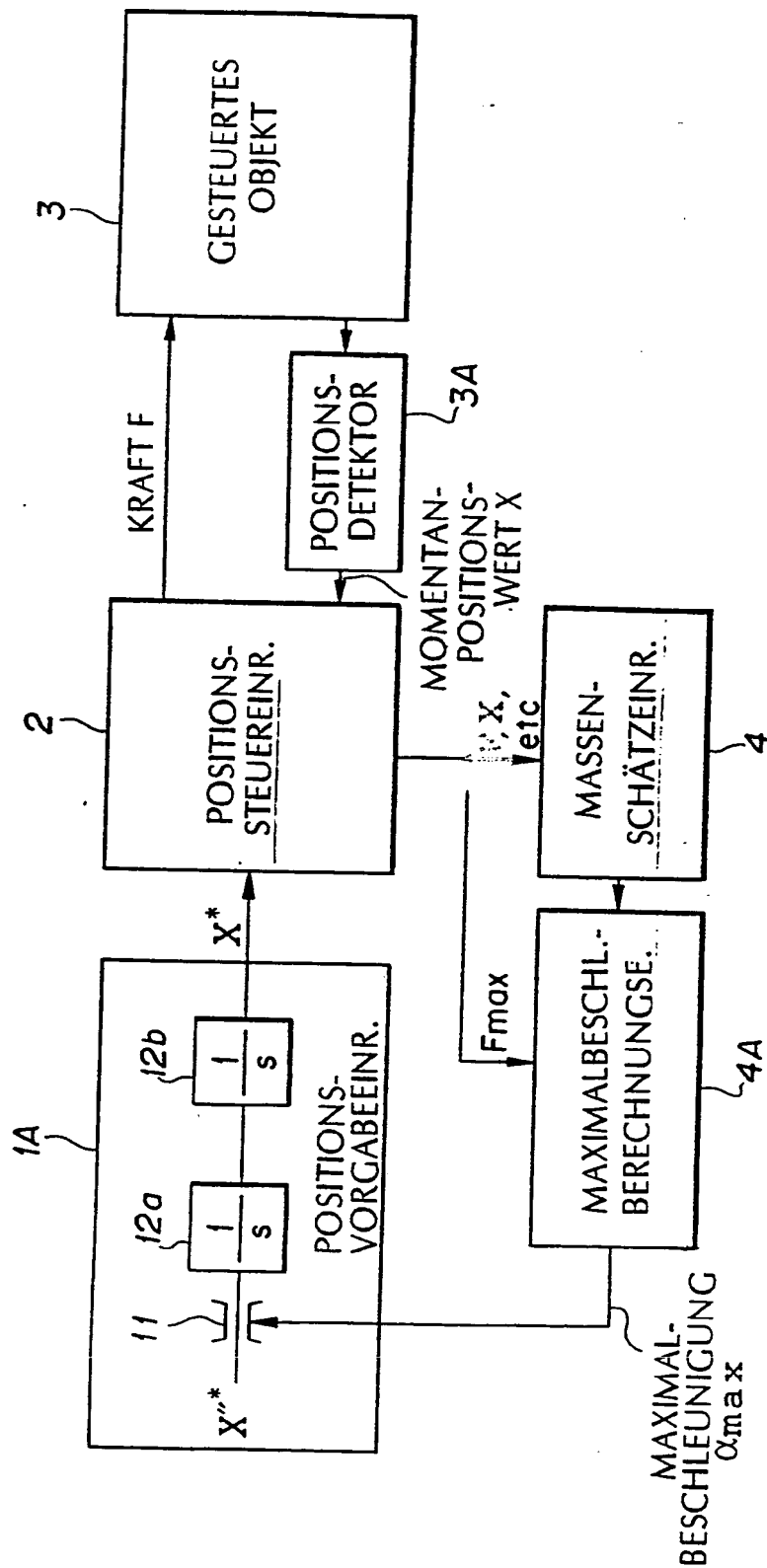
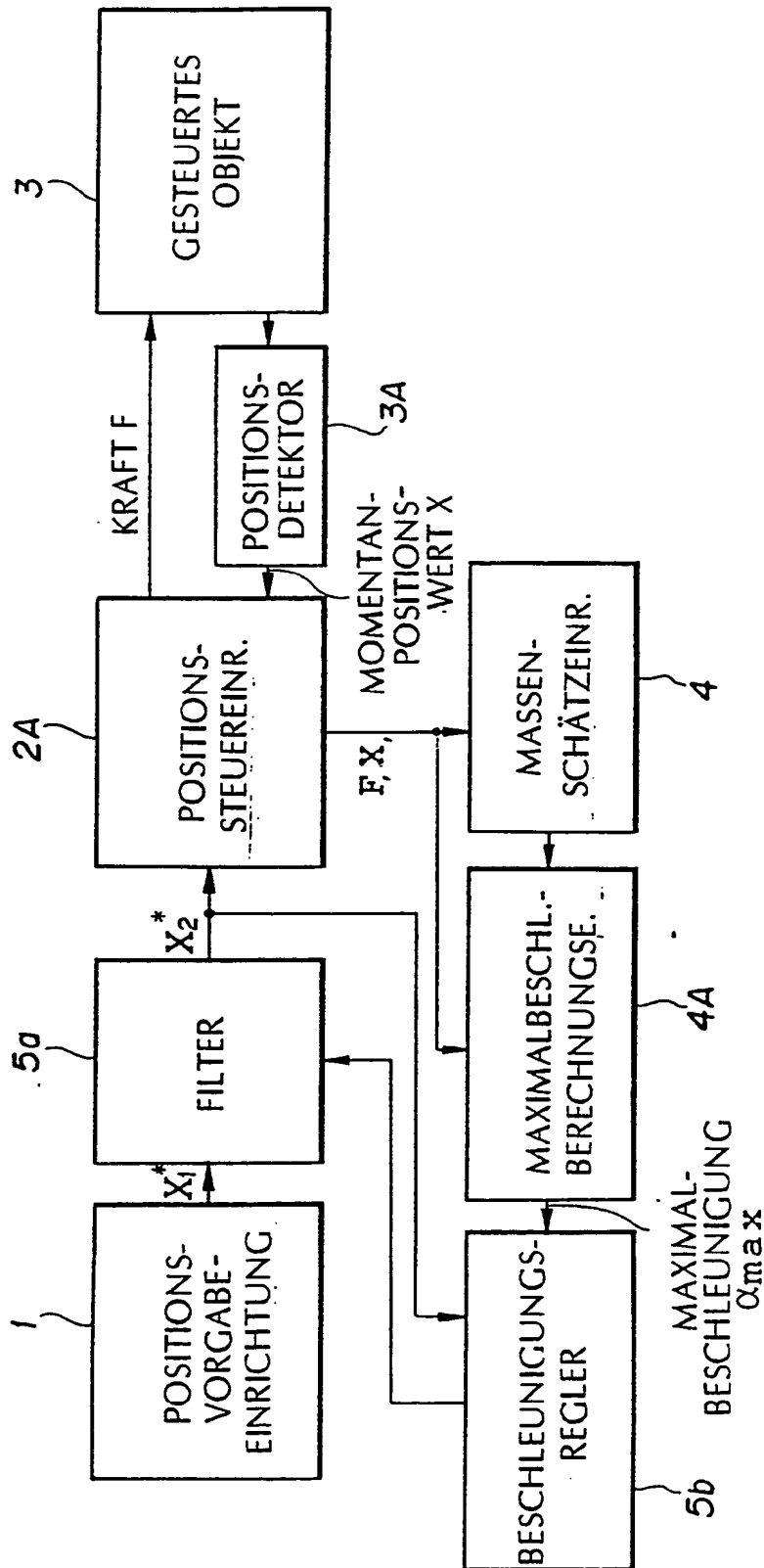
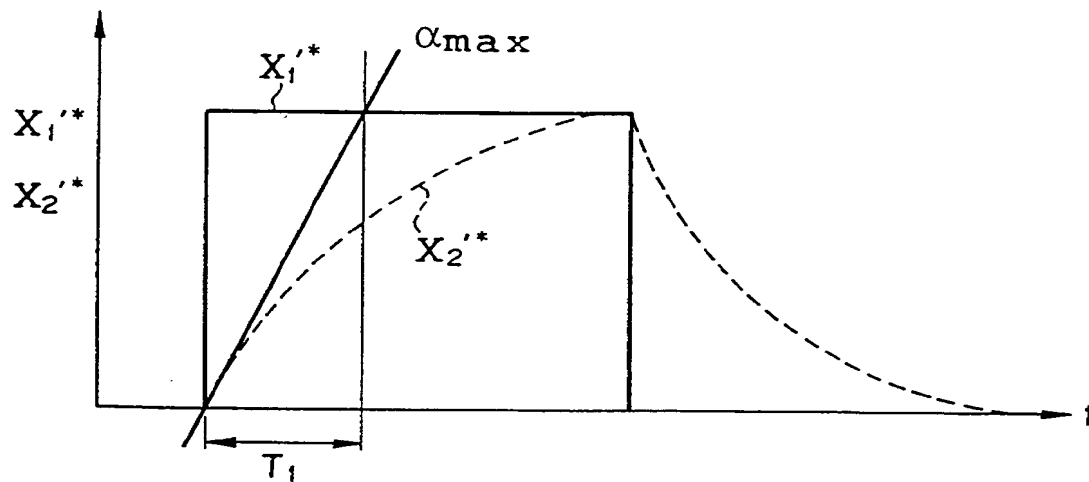


Fig. 1

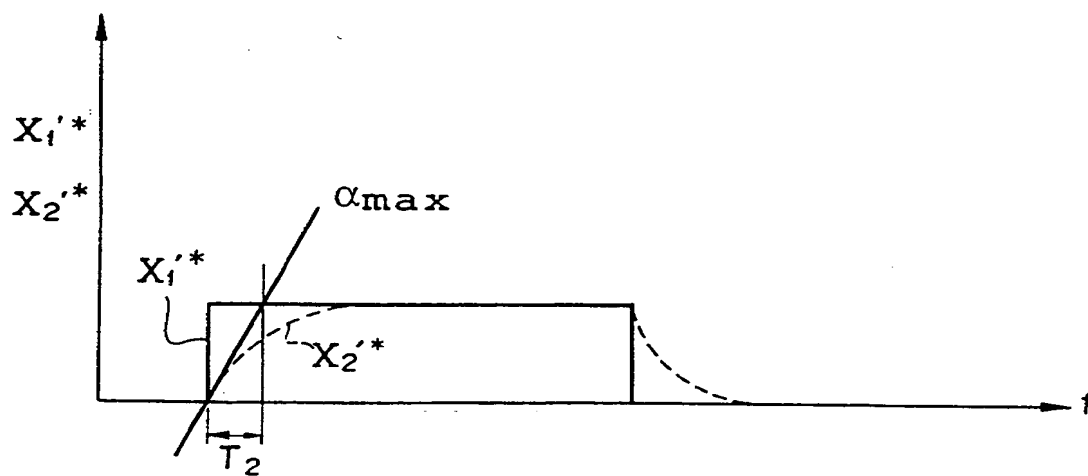
\*



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

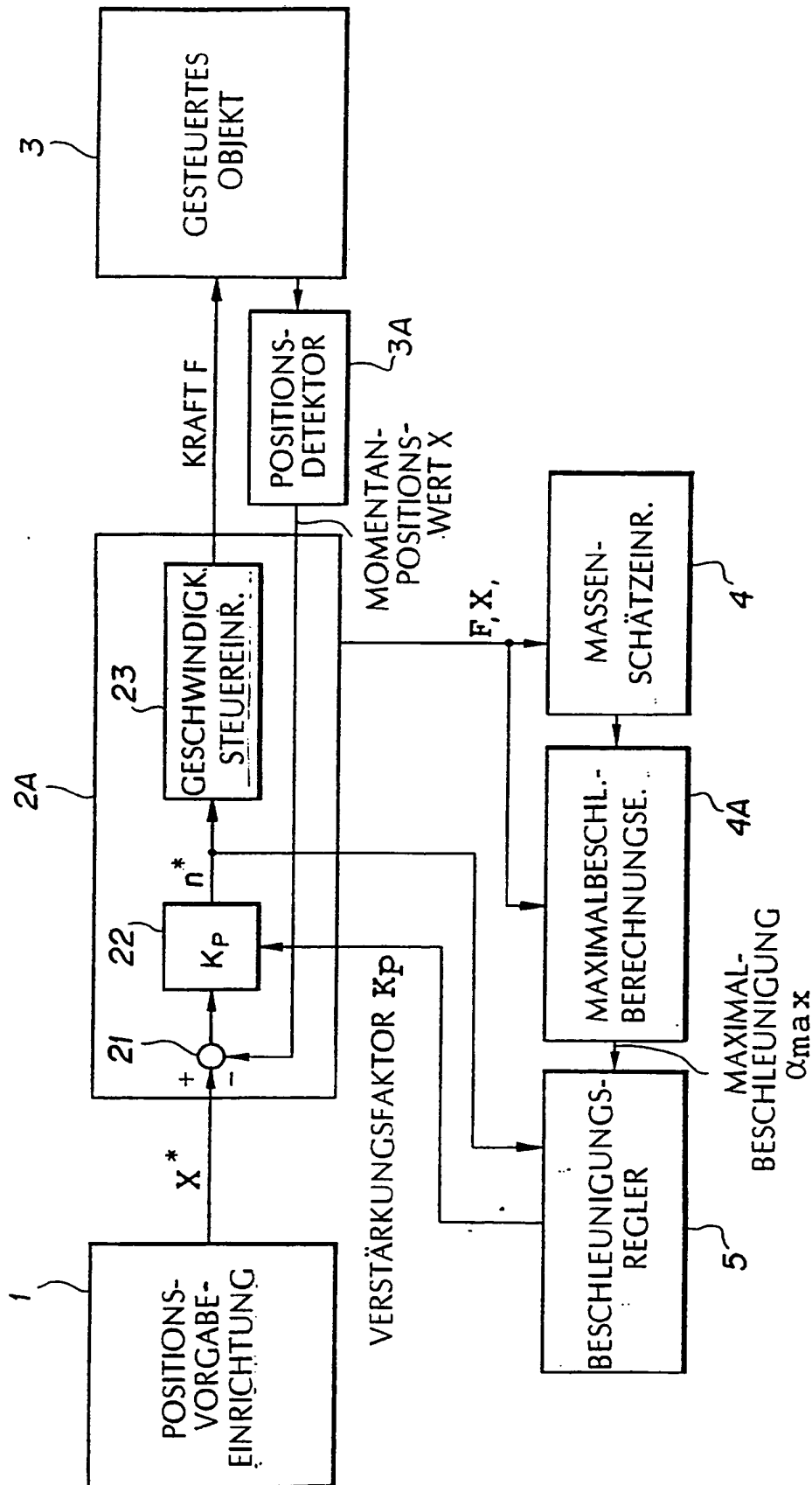
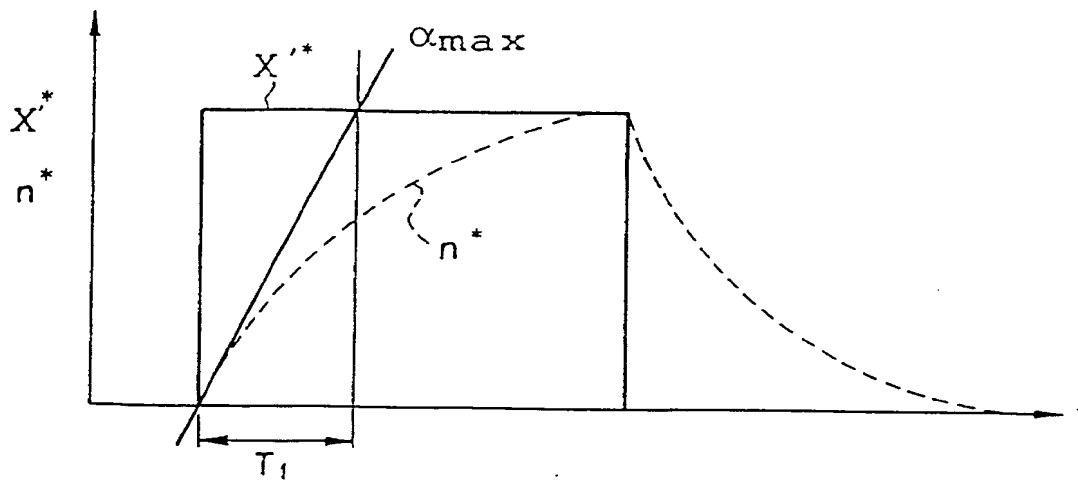
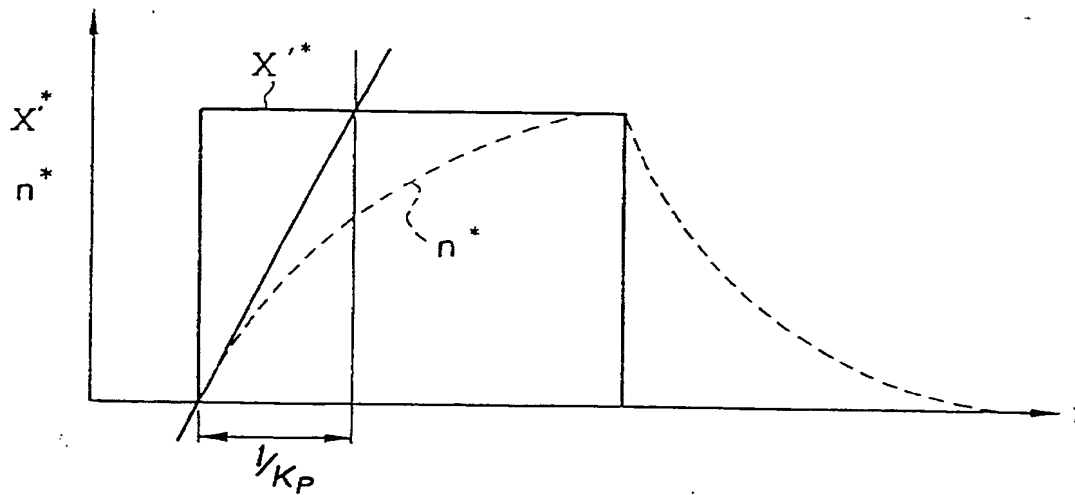


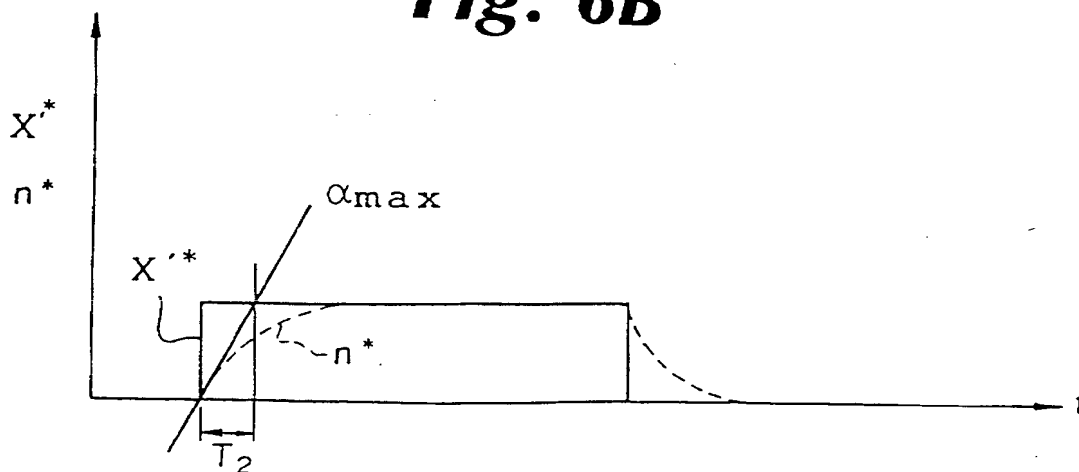
Fig. 5



**Fig. 6A**



**Fig. 6B**



**Fig. 7**

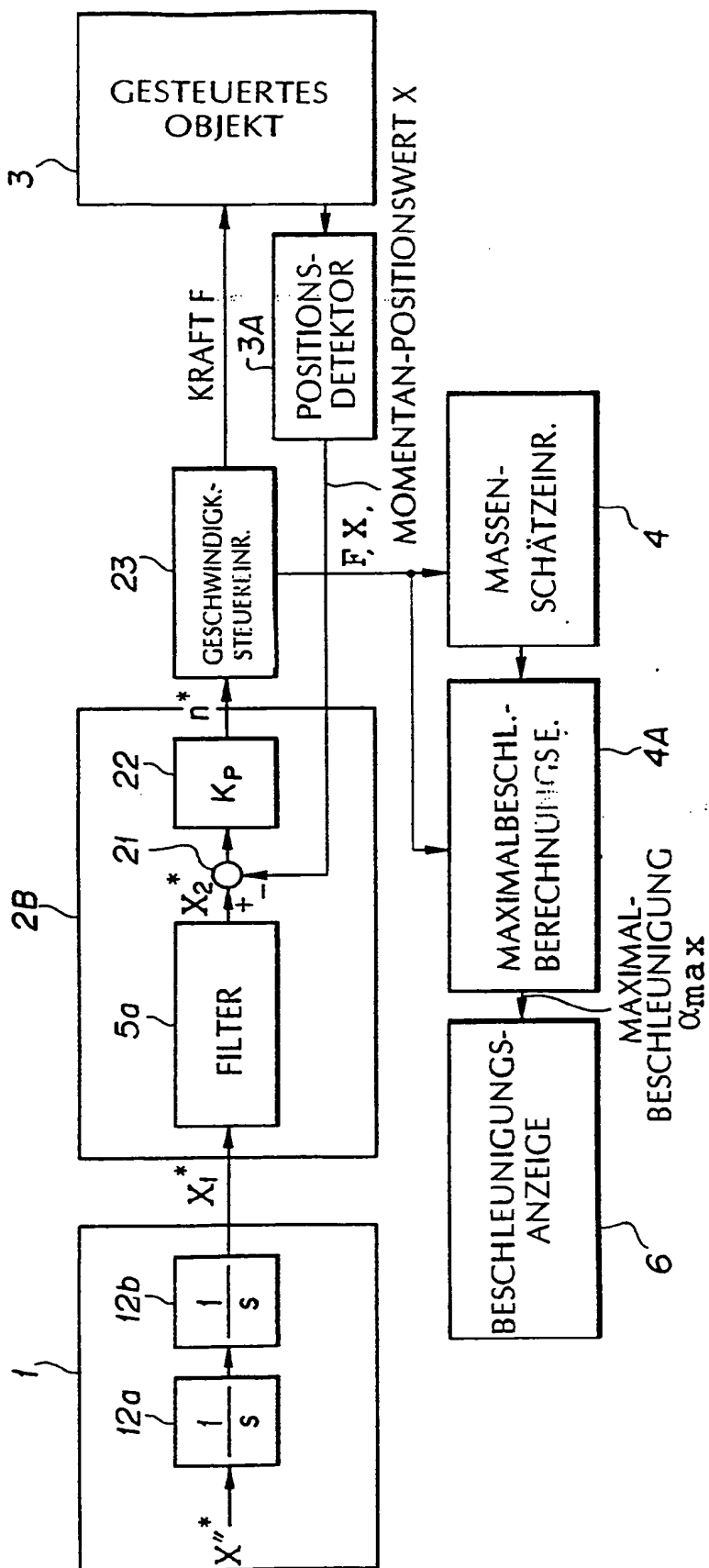
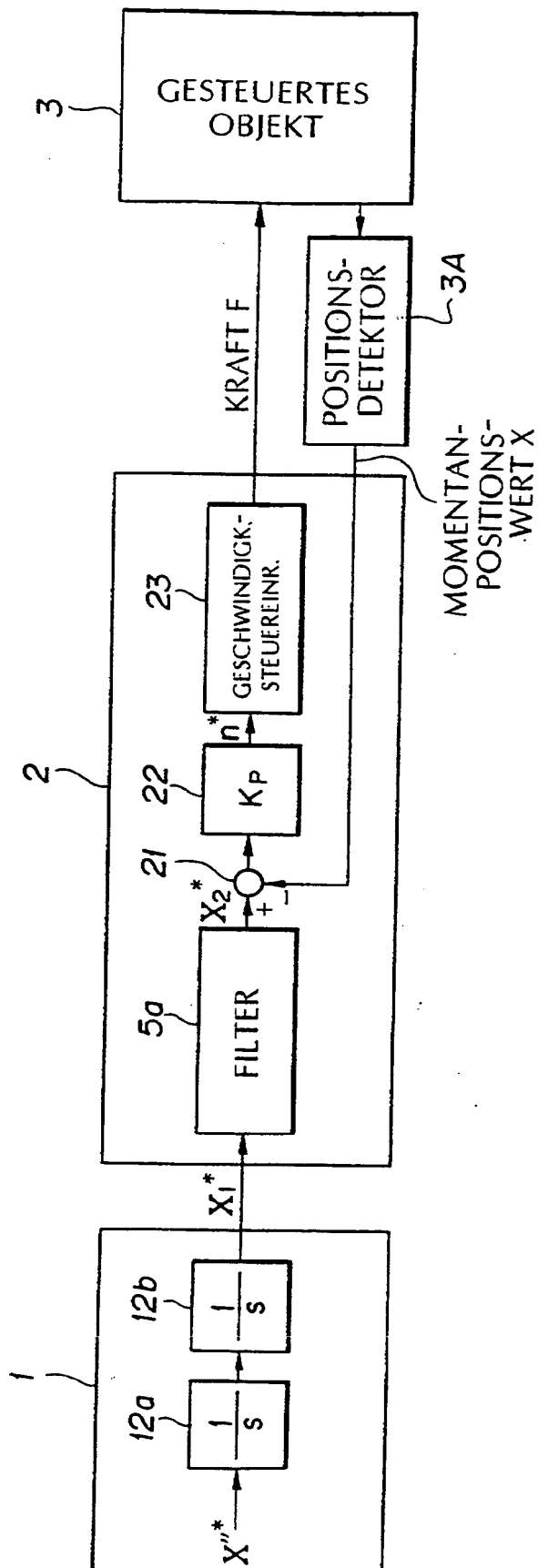


Fig. 8



**Fig. 9**

*(Stand der Technik)*